

surface rheological properties of solutions systems surfactant-non-electrolyte, natural polyelectrolytes, non-electrolyte-polyelectrolyte and polyelectrolyte-surfactant were considered.

Important sources of information on the structure and properties interfacial layers of surfactants are their rheological characteristics. Comparison of the rheological properties of interfacial layers with their composition and internal structure determines the selection and optimization of their composition for various practical applications.

These layers of surfactants are characterized by certain mechanical properties, the most significant of which are the elasticity and viscosity. These properties are caused by the ability of the surfactant molecules to interact with each other and form a structured adsorption layers.

Modern experimental methods for studying the rheological properties of interfacial layers at interfaces belong to the two-dimensional (2D) rheology. There are two groups of methods of two-dimensional 2D rheology. This rotational viscosity measurement methods modulus at imposing strain shear and dilatational rheology measurement when applied strain tension-compression. Increasingly used methods found dilated rheology. These methods are used in modern laboratory practice and implemented in the form of original and commercial devices

Keywords: dilational rheology, interfacial layers, liquid-gas.

Хилько Светлана Леонидовна – канд. хим. наук, ст. науч. сотр., Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко Национальной Академии наук Украины, Донецк, Украина, e-mail: sv-hilko@yandex.ru.

УДК 623.459.4:542.92

Л.Н. Вахитова, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., **К.В. Матвиенко**, **Н.А. Таран**, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., **В.В. Рыбак**, канд. хим. наук (Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко НАН Украины, г. Донецк); **Я.Ф. Бурдина**, канд. хим. наук (Одесский Национальный медицинский университет, г. Одесса)

КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАКЦИЙ ГИДРОЛИЗА И ПЕРГИДРОЛИЗА ПАРАОКСОНА В МИКРОЭМУЛЬСИИ

Изучено взаимодействие 4-нитрофенилового эфира диэтилфосфорной кислоты (параоксона) с HO^- и HOO^- -анионами в микроэмульсии (МЭ) типа «масло в воде» при варьировании компонентов микроэмульсии. Установлено, что реакция разложения параоксона протекает преимущественно в поверхностном слое микрокапли масла и формально механизм взаимодействия имеет сходство с последовательностью стадий межфазного катализа. Проведено математическое моделирование кинетики изучаемых процессов в рамках псевдофазной распределительной модели и модели межфазного катализа. Определена реакционная способность HO^- и HOO^- -анионов на поверхности микрокапли катионной микроэмульсии.

Ключевые слова: микроэмульсия, модель межфазного катализа, нуклеофильное замещение, константа скорости реакции.

Анализ литературных источников по количественному описанию химических взаимодействий в микроэмульсии показывает, что для определения констант скорости второго порядка на поверхности или внутри «масляной» капли часто используют псевдофазную модель [1, 2], модели ферментативного катализа [3] или ионного обмена [4, 5], в которых объем микрокапель рассчитывается как сумма объемов органического растворителя, содетергента и детергента. Поскольку ранее [6] было определено, что реакция разложения параоксона протекает преимущественно в поверхностном слое микрокапли,

(далее по тексту – реакционная среда), то формально механизм взаимодействия имеет сходство с последовательностью стадий межфазного катализа [7]: перенос реагирующих веществ на поверхность микрокапли (P_{Nu}) сольubilизация субстрата (P_S), химическая реакция в слое поверхности раздела фаз (ω -фазы, идентичной слою Штерна [8]).

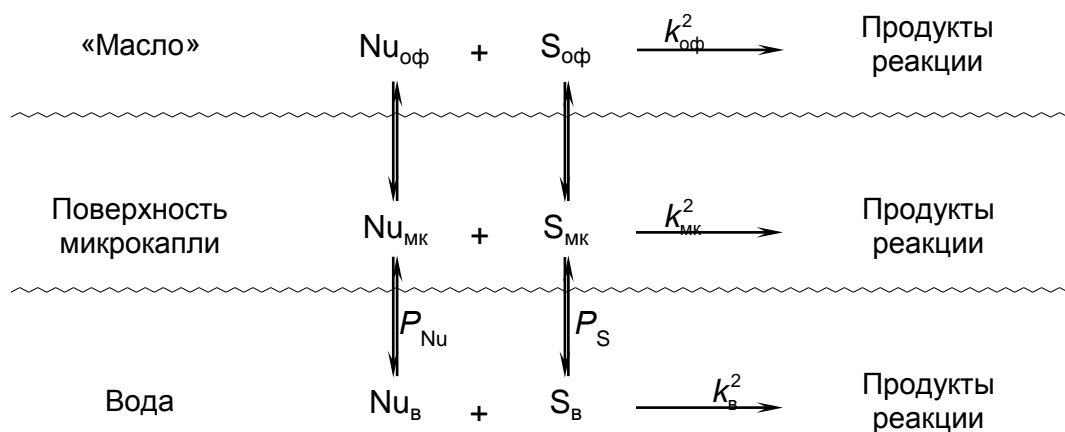


Схема. Последовательность стадий нуклеофильного замещения на поверхности микрокапли микроэмульсии «М/В»

Следовательно, для количественной обработки результатов разложения 4-нитрофенилового эфира диэтилфосфорной кислоты (параоксон) в МЭ можно использовать модель межфазного катализа [7]:

$$k_{\text{каж.}}^2 = \frac{k_{\text{в}}^2}{(1 + P_S)(1 + P_{Nu})} + \frac{k_{\text{мк}}^2 P_S P_{Nu}}{(1 + P_S)(1 + P_{Nu})\delta}, \quad (1)$$

где $k_{\text{в}}^2$ и $k_{\text{мк}}^2$, ($\text{M}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) – константы скорости второго порядка взаимодействия субстрата с нуклеофилом в воде и на поверхности микрокапли МЭ соответственно; P_S и P_{Nu} – коэффициенты распределения субстрата и нуклеофила между водой и микрокаплями микроэмульсии; δ – доля реакционной среды по отношению к объему всей системы, равная $\delta = \frac{V_{\text{мк}}}{V_{\text{мэ}}}$

(л) – объем реакционной среды, в котором преимущественно протекает реакция разложения параоксона; $V_{\text{мэ}}$ (л) – объем МЭ).

Преимущество модели (1) перед классической псевдофазной распределительной моделью:

$$k_{\text{каж.}}^2 = \frac{k_{\text{в}}^2 + \frac{k_{\text{м}}^2}{V} K_S K_{Nu} D_n}{(1 + K_S D_n)(1 + K_{Nu} D_n)}, \quad (2)$$

наиболее применяемой для описания механизма реакций нуклеофильного замещения в МЭ, состоит в том, что в предлагаемой модели используются

коэффициенты распределения субстрата и нуклеофила (P_S и P_{Nu}) между водой и микрокаплями микроэмульсии. Это постоянные величины и, в отличие от констант связывания (K_S , K_{Nu} , модель 2), не зависят от мольных объемов псевдофазы (напр. V (М⁻¹) — мольный объем ЦТАБ, модель 2). Кроме того, как правило, при расчетах в рамках распределительной модели (2) за объем микрокапли принимают или объем ЦТАБ, полагая, что весь детергент сосредоточен в микрокапле, или суммируют все ингредиенты микроэмульсии за исключением воды в произвольных количествах [1, 2, 9].

Экспериментальная часть

4-нитрофениловый эфир диэтилфосфорной кислоты (фирмы «Aldrich»), *n*-гексан (ч.д.а.) и *n*-бутанол (ч.д.а.) использовали без предварительной очистки. Пероксид водорода (ч.д.а.) в виде 33%-ного водного раствора предварительно перегоняли в вакууме (5 мм рт.ст.), концентрацию H₂O₂ в растворах контролировали перманганатометрическим титрованием. ЦТАБ (фирма «Мерк») кристаллизовали из смеси этанол : диэтиловый эфир (1:1) до т.пл. 207-208°C.

Растворы реагентов готовили непосредственно перед кинетическими измерениями. Кислотность растворов контролировали с использованием рН-метра ОР 211/1 Radelhis (Hungary) с точностью до 0,05 единиц рН.

Микроэмульсии получали путем смешивания ингредиентов в следующем порядке: водный раствор пероксида водорода и (или) щелочи, детергент, спирт, органический растворитель. После смешивания реагентов и встряхивания смеси (в течение не более 1 мин.) образуется прозрачная МЭ. При этом водная фаза представляла собой раствор КОН (для изучения кинетики реакции щелочного гидролиза) или раствор КОН и H₂O₂ (для изучения кинетики реакции щелочного гидролиза и пергидролиза) с точно установленными концентрациями обоих реагентов. Концентрацию нуклеофилов (НО⁻ и НОО⁻) в смеси рассчитывали, исходя из суммарного объема реакционной среды.

Контроль за ходом реакции осуществляли спектрофотометрически при λ 405 нм в концентрационных условиях [НОО⁻] >> [S]. Начальная концентрация субстрата составляла 5·10⁻⁵ М, а степень его превращения превышала 80%. Константы скорости псевдопервого порядка (k_n , с⁻¹) сохраняли свое постоянство по ходу процесса.

Результаты и их обсуждение

Для моделирования объема реакционной среды (поверхностного слоя микрокапли, $V_{МК}$) разложения параоксона ($k_{МК}^2$) был варьирован состав МЭ путем изменения количеств ЦТАБ или *n*-бутанола, как показано в табл. 1. В этих условиях изучена скорость разложения параоксона в МЭ, содержащей водный раствор H₂O₂–НО⁻ ($k_{каж.,НОO}^2$), а также скорость гидролиза параоксона в отсутствие H₂O₂ ($k_{каж.,НО}^2$). Зависимости наблюдаемых констант скорости этих процессов (k_n , с⁻¹) от содержания варьируемой составляющей МЭ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Кажущиеся константы скорости второго порядка ($k_{\text{каж.}}^2$) и наблюдаемые константы скорости ($k_{\text{н.}}$) реакции параоксона с анионами HO^- и HOO^- и величина $k_{\text{каж.,HOO}^-}^2 / k_{\text{каж.,HO}^-}^2$ в МЭ, 25°C

№	ЦТАБ	н-бутанол		вода	$k_{\text{н.,HO}^-} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	$k_{\text{н.,HOO}^-} \cdot 10^2, \text{с}^{-1}$	$k_{\text{каж.,HO}^-}^2 \cdot 10^2, \text{М}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$k_{\text{каж.,HOO}^-}^2 \cdot 10^2, \text{М}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$k_{\text{каж.,HOO}^-}^2 / k_{\text{каж.,HO}^-}^2$
		масс. %	гексан						
1	1	5	2	92	–	1,45	–	1,45	–
2	3	5	2	90	8,50	1,26	3,71	1,26	34
3	5	5	2	88	7,82	0,96	3,57	0,960	27
4	8	5	2	85	5,82	0,874	2,79	0,874	31
5	10	5	2	83	5,43	0,720	2,02	0,720	36
6	12	5	2	81	4,56	0,673	1,82	0,673	37
7	5	2	2	91	11,3	1,02	4,48	1,01	23
8	5	5	2	88	8,03	0,896	3,20	0,896	28
9	5	7	2	86	7,01	0,655	2,79	0,658	24
10	5	10	2	83	5,79	0,523	2,31	0,530	23
11	5	12	2	81	5,00	0,420	1,99	0,427	21
12	5	14,4	2	78,6	4,23	0,372	1,68	0,381	23

¹⁾ pH 11,4;
²⁾ №1-6 – $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 0,015 \text{ M}$, $[\text{NaOH}]_0 = 0,01 \text{ M}$; №7-12 – $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 0,0115 \text{ M}$, $[\text{NaOH}]_0 = 0,01 \text{ M}$

Для обработки кинетических данных по уравнению (1) объем микрокапли ($V_{\text{МК}}$), в которой преимущественно осуществляется реакция разложения параоксона, рассчитывался в разных приближениях:

а) реакционная среда состоит из полных объемов органического растворителя – «масла» ($V_{\text{М}}$), ЦТАБ ($V_{\text{ЦТАБ}}$) и объема спирта, связанного с микрокаплями ($V_{\text{РОН}}$), которые суммируются:

$$V_{\text{МК}} = V_{\text{М}} + V_{\text{РОН}} + V_{\text{ЦТАБ}}, \quad (3)$$

в) реакционная среда организована половиной органического растворителя и объемами спирта и ЦТАБ:

$$V_{\text{МК}} = 1/2 V_{\text{М}} + V_{\text{РОН}} + V_{\text{ЦТАБ}}, \quad (4)$$

б) в организации реакционной среды растворитель не принимает участия:

$$V_{\text{МК}} = V_{\text{РОН}} + V_{\text{ЦТАБ}}. \quad (5)$$

Объем спирта, связанного с поверхностью микрокапли ($V_{\text{РОН}}$) рассчитывали по уравнению:

$$V_{\text{РОН}} = V_{\text{м}} [\text{РОН}]_{\text{МК}}, \quad (5)$$

где $[\text{РОН}]_{\text{МК}}$ (моль) – количество спирта в микрокапле; $V_{\text{м}}$ (л·моль⁻¹) – мольный объем микрокапли.

Величину $V_{\text{м}}$ находили из уравнения:

$$V_{\text{м}} = R \cdot V_{\text{м,ЦТАБ}} + (1 - R) \frac{Mr_{\text{ЦТАБ}}}{\rho_{\text{РОН}} \cdot 1000}, \quad (6)$$

где $V_{m, \text{ЦТАБ}}$ (M^{-1}) – молярный объем ЦТАБ ($0,36 M^{-1}$); $\rho_{\text{РОН}}$ ($г \cdot мл^{-1}$) – плотность *n*-бутанола ($0,8098 г \cdot мл^{-1}$); $M_{r, \text{ЦТАБ}}$ ($г \cdot моль^{-1}$) – молекулярная масса ЦТАБ; значение $R = [\text{ЦТАБ}] / ([\text{ЦТАБ}] + [\text{РОН}]_{\text{МК}})$.

Количество спирта в реакционной среде рассчитывали через значение константы связывания спирта микрокаплями:

$$K_{\text{РОН}} = \frac{[\text{РОН}]_{\text{МК}}}{[\text{РОН}]_{\text{В}}([\text{ЦТАБ}] + [\text{РОН}]_{\text{МК}})} \quad (7)$$

После преобразования уравнения (7) с использованием известного значения $K_{\text{РОН}} = 1 M^{-1}$ [9] и суммарной концентрации спирта в МЭ $[\text{РОН}]_0$:

$$[\text{РОН}]_0 = \frac{[\text{РОН}]_{\text{В}} K_{\text{РОН}} [\text{ЦТАБ}]}{(1 - [\text{РОН}]_{\text{В}} K_{\text{РОН}})} + [\text{РОН}]_{\text{В}}, \quad (8)$$

находим количество спирта в водной фазе $[\text{РОН}]_{\text{В}}$ и в микрокапле $[\text{РОН}]_{\text{МК}} = [\text{РОН}]_0 - [\text{РОН}]_{\text{В}}$, а соответственно и объем $V_{\text{РОН}}$ по уравнению (5).

Рассчитанные значения $V_{\text{РОН}}$ применяли для расчета кинетических параметров разложения параоксона в МЭ по уравнению (1), суммируя их с остальными компонентами.

В табл. 2 приведены рассчитанные согласно приближениям (3) – (5), объемы реакционных сред ($V_{\text{МК}}$) и значения δ , характеризующие долю реакционной среды в общем объеме микроэмульсии. Эти данные, а также значения $k_{\text{В,НОO}^-}^2 = 0,5 M^{-1} \cdot c^{-1}$, $k_{\text{В,НО}^-}^2 = 0,01 M^{-1} \cdot c^{-1}$ [10], $K_{\text{S}} = 1800 M^{-1}$ (определяли как описано [11]), $K_{\text{НОO}^-} = 36 M^{-1}$, $K_{\text{НО}^-} = 26 M^{-1}$ [12] были использованы для обработки кинетических данных реакции параоксона с анионами НО^- и НОO^- в рамках модели (1).

Таблица 2. Значения рассчитанных объемов реакционной среды микроэмульсии ($V_{\text{МК}}$, л) с использованием разных объемов органического растворителя

№ п/п	Варьируемый компонент масс. %	ур. (3)		ур. (4)		ур. (5)		V_m, M^{-1}
		$V_{\text{МК}} \cdot 10^3, л$	δ	$V_{\text{МК}} \cdot 10^3, л$	δ	$V_{\text{МК}} \cdot 10^3, л$	δ	
ЦТАБ								
1	1	0,452	0,0446	0,299	0,0295	0,146	0,0144	0,193
2	3	0,720	0,0726	0,567	0,0572	0,414	0,0418	0,207
3	5	0,974	0,100	0,821	0,0845	0,669	0,0688	0,217
4	8	1,34	0,142	1,19	0,126	1,04	0,110	0,228
5	10	1,58	0,172	1,43	0,155	1,28	0,139	0,234
6	12	1,82	0,202	1,67	0,185	1,52	0,168	0,239
<i>n</i>-Бутанол								
7	2	0,857	0,0888	0,704	0,0729	0,551	0,0571	0,297
8	5	0,974	0,100	0,821	0,0845	0,669	0,0688	0,217
9	7	1,11	0,113	0,952	0,0974	0,799	0,0818	0,179
10	10	1,38	0,140	1,23	0,125	1,08	0,109	0,144
11	12	1,60	0,162	1,45	0,146	1,30	0,131	0,132
12	14,4	1,88	0,189	1,73	0,174	1,58	0,158	0,122

Результаты количественного анализа представлены в табл. 3.

Полученные значения $k_{\text{МК,НО}^-}^2$ и $k_{\text{МК,НОО}^-}^2$ (табл. 3) достаточно близки для всех используемых приближений расчета объема микрокапли $V_{\text{МК}}$ и удовлетворительно совпадают со значениями $k_{\text{МК,НО}^-}^2$ и $k_{\text{МК,НОО}^-}^2$, полученными согласно псевдофазной модели (2).

Таблица 3. Результаты количественного анализа кинетических данных разложения параоксона в МЭ¹⁾ с использованием уравнения (1), 25°C

Варьируемый компонент	$k_{\text{МК,НО}^-}^2 \cdot 10^{-3}, \text{M}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$			
	ур-е (3)	ур-е (4)	ур-е (5)	ур-е (2)
ЦТАБ	3,49±0,16	3,00±0,17	2,58±0,19	2,23±0,26
	0,910 ²⁾	0,866	0,764	0,840
<i>n</i> -Бутанол	3,56±0,15	3,05±0,091	2,52±0,049	2,72±0,06
	0,913	0,958	0,982	0,976
	$k_{\text{МК,НОО}^-}^2 \cdot 10^{-2}, \text{M}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$			
ЦТАБ	8,30±1,04	5,73±0,96	2,85±0,76	4,19±0,96
	0,112	0,175	0,717	0,164
<i>n</i> -Бутанол	7,50±0,48	6,43±0,34	5,32±0,22	5,63±0,25
	0,833	0,887	0,930	0,919

¹⁾Состав МЭ указан в табл. 1; ²⁾коэффициент корреляции.

Величины констант скорости второго порядка разложения параоксона НО⁻ и НОО⁻-анионами имеют более низкие значения, чем константы скорости в воде. Такое снижение реакционной способности анионов в микроэмульсии качественно объясняется неблагоприятным окружением положительно заряженными тетраалкиламмониевыми головными группами детергента, а также меньшей полярностью микроэмульсии по сравнению с водой.

Список использованной литературы

1. Pseudophase approach to reactivity in microemulsions: quantitative explanation of the kinetics of the nitroso group transfer reactions between N-methyl-N-nitroso-*p*-toluenesulfonamide and secondary alkylamines in water/AOT/isooctane microemulsions / L. García-Río, P. Hervés, J. C. Mejuto [et al.] // *Ind. Eng. Chem. Res.* — 2003. — Vol. 42, № 22. — P. 5450–5456.
2. Organic reactivity in AOT-stabilized microemulsions [Text] / G. Astray, A. Cid, L. García-Río [et al.] // *Prog. React. Kinet. Mec.* — 2008. — Vol. 33, № 1. — P. 81–97.
3. Катализ реакций нуклеофильного замещения в супрамолекулярных системах / Л. Я. Захарова, А. Б. Миргородская, Е. П. Жильцова [и др.] // *Изв. АН. Сер. хим.* — 2004. — № 7. — С. 1331–1347.
4. Bunton C. A. The dependence of micellar rate effects upon reaction mechanism / C. A. Bunton // *Adv. Colloid Interface Sci.* — 2006. — Vol. 123–126. — P. 333–343.
5. Bunton C. A. Quantitative treatment of bromide ion nucleophilicity in a microemulsion / C. A. Bunton, F. de Buzzaccarini // *J. Phys. Chem.* — 1982. — Vol. 86, № 25. — P. 5010–5014.
6. Нуклеофильная реакционная способность пероксид-аниона в микроэмульсиях типа «масло в воде» в процессах разложения эфиров фосфорной и толуолсульфоновой кислот / Л. Н. Вахитова, К. В. Матвиенко, А. В. Скрыпка [и др.] // *Теорет. и эксперим. химия.* — 2010. — Вып. 46, № 1. — С. 1–7.
7. Бурдина Я. Ф. Аминолиз активированных эфиров твердыми солями аминокислот в условиях межфазного катализа: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.03 : защищена 14.04.05 : утв. 24.11.05 / Бурдина Янина Федоровна. — Донецк, 2004. — 162 с.
8. Волков В. А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. / В. А. Волков. — М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001. — 640 с.
9. Gu Q. Using the pseudophase kinetic model to interpret chemical reactivity in ionic emulsions: Determining antioxidant partition constants and interfacial rate constants / Q. Gu, C. Bravo-Diaz, L. S. Romsted. // *J. Colloid Interface Sci.* — 2013. — Vol. 400. — P. 41–48.

10. Нуклеофильная реакционная способность HO^- , HO_2^- -анионов в водно-спиртовых смесях и HCO_4^- -аниона в воде / В. А. Савелова, А. Ф. Попов, Л. Н. Вахитова [и др.] // Журн. орган. химии. — 2005. — Т. 41, вып. 12. — С. 1810–1818.

11. Нуклеофильная реакционная способность пероксид-аниона в водно-спиртовых растворах в присутствии детергентов / Л. Н. Вахитова, А. В. Скрыпка, К. В. Богуцкая [и др.] // Теорет. и эксперим. химия. — 2007. — Т. 43, № 5. — С. 358–363.

12. Кинетические закономерности мицеллярного катализа в реакции дефосфорилирования пероксид-анионом / Л. Н. Вахитова, К. В. Матвиенко, А. В. Скрыпка [и др.] // Журн. орган. химии. — 2009. — Т. 45, вып. 8. — С. 1143–1151.

Надійшла до редколегії 11.03.2014.

Л.М. Вахитова, Х.В. Матвиенко, Н.А. Таран, В.В. Рыбак, Я.Ф. Бурдіна КІНЕТИЧНА МОДЕЛЬ РЕАКЦІЙ ГІДРОЛІЗУ І ПЕРГІДРОЛІЗУ ПАРАОКСОНУ У МІКРОЕМУЛЬСІЇ

Вивчено взаємодію 4-нітрофенілового ефіру діетилфосфорної кислоти (параоксон) з HO^- і HOO^- аніонами в мікроемульсії (МЕ) типу «масло у воді» при варіюванні компонентів мікроемульсії. Встановлено, що реакція розкладання параоксону протікає переважно в поверхневому шарі мікрокраплі масла, і формально механізм взаємодії має схожість з послідовністю стадій міжфазного каталізу. Проведено математичне моделювання кінетики досліджуваних процесів у рамках псевдофазної розподільної моделі та моделі межфазного каталізу. Визначено реакційну здатність HO^- і HOO^- -аніонів на поверхні мікрокраплі катіонної мікроемульсії.

Ключові слова: мікроемульсія, модель міжфазного каталізу, нуклеофільне заміщення, константа швидкості реакції.

L.N. Vahytova, N.A. Taran, K.V. Matviienko, V.V. Rybak, Y.F. Burdina KINETIC MODEL OF HYDROLYSIS AND PERHYDROLYSIS OF PARAOXONE IN MICROEMULSION

Interaction of 4-nitrophenyl diethylphosphoric acid ester with HO^- and HOO^- anions in the "oil-in-water" microemulsion (ME) at varied microemulsion components was studied. Decomposition of paraoxon was found to proceed predominantly at the surface layer of oil microdroplets. Formally, the reaction mechanism is similar to the sequence of the stages in the phase-transfer catalysis: transfer of the reactants to the surface of microdroplets, substrate solubilization, and chemical reaction in the interfacial layer (ω -phase, identical to Stern layer).

Decomposition of 4-nitrophenyl diethylphosphoric acid (paraoxon) was studied with the pseudo-phase distribution and phase-transfer catalysis models.

An advantage of phase-transfer catalysis model over pseudo-phase distribution model, conventionally used for consideration of nucleophilic substitution in ME, is that it involves distribution coefficients of the substrate and nucleophile between water and microemulsion droplets. Unlike the binding constants the distribution coefficients are constants, independent of the molar volume of pseudophase.

Second-order rate constants of paraoxon decomposition by HO^- and HOO^- anions are less than those in pure water. Such a decrease in the reactivity of the anions in microemulsions can be explained by unfavorable surrounding positively charged tetraalkyl ammonium head groups of the detergent and lesser polarity of microemulsion as against that in water.

Key words: microemulsion; phase-transfer catalysis model; nucleophilic substitution; rate constant.

Вахитова Любовь Николаевна - канд. хим. наук, ст. науч. сотр., Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко Национальной Академии наук Украины, Донецк, Украина, e-mail: lu5005@mail.ru

Матвиенко Кристина Владимировна - мл. науч. сотр., Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко Национальной Академии наук Украины, Донецк, Украина, e-mail: bogutskayak@gmail.com

Таран Надежда Анатольевна - канд. хим. наук, ст. науч. сотр., Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко Национальной Академии наук Украины, Донецк, Украина, e-mail: taran5005@mail.ru

Рыбак Владимира Владимировна - канд. хим. наук, мл. науч. сотр., Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко Национальной Академии наук Украины, Донецк, Украина, e-mail: myrra7575@mail.ru

Бурдина Янина Федоровна - старший преподаватель кафедры медицинской химии, Одесский национальный медицинский университет, Одесса, Украина, e-mail: burdyanina@mail.ru